

FN- DIALOG(R)File 347:JAPIO|

CZ- (c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.]

TI- SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

PN- 08-111558 -JP 8111558 A-

PD- April 30, 1996 (19960430)

AU- TANAKA TOSHIAKI; OTOSHI SO; ISHITANI YOSHIHIRO; MINAGAWA SHIGEKAZU

PA- HITACHI LTD [000510] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

AN- 06-243681 -JP 94243681-

AN- 06-243681 -JP 94243681-

AD- October 07, 1994 (19941007)

IC- -6- H01S-003/18

CL- 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)

KW- R002 (LASERS); R095 (ELECTRONIC MATERIALS -- Semiconductor Mixed Crystals)

AB- PURPOSE: To conduct a highly efficient laser oscillation at a low threshold value on GaInN/AlGaIn material which constitutes a short wavelength semiconductor laser which changes to purple color from bluish green.

CONSTITUTION: A strained multiple quantum well structure 12, consisting of GaInN/AlGaIn material, is formed on a sapphire substrate 1. At this time, the area of 1nm on both sides of the boundary region of a quantum well layer is not doped when performing a P-type modulation doping operation is conducted on a quantum barrier layer, and the carrier density of  $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  is formed on the center part of the quantum barrier layer and a photo-isolation confinement layer by modulation-doping P-type impurities. An element is cleaved to cut in bar-like form, and high reflection film coating is provided on both front and back sides of a resonator. As a result, the carrier-injection efficiency can be improved for an MQW active layer and light-emitting efficiency can also be improved in the material having heavy Hall effective mass.

(51) IntCl.<sup>4</sup>

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術説示箇所

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-243681

(22) 出願日 平成6年(1994)10月7日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 大塚 創

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 石谷 善博

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

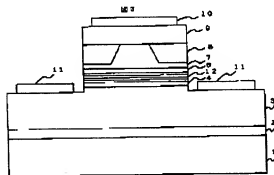
(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【目的】 本発明の目的は、青緑色から紫色に相当する短波長半導体レーザを構成するGaInN/AlGaIn材料系において、低閾値でかつ高効率のレーザ発振を可能とさせることである。

【構成】 サファイア基板上1に、GaInN/AlGaIn材料からなる近多量量子井戸構造12を作製する。このとき、量子障壁層へのp型変調ドーピングでは量子井戸層との境界領域両側10gにはドーピングせず、量子障壁層中央部と光分離隔壁込め層にはp型不純物を変調ドーピングして $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のキャリア濃度を発生させる。素子は劈開してバレー状に切り出し、共振器の前面と後面に高反射膜コーティングを施す。

【効果】 本発明により、ホールの有効質量が重い材料系において、MQW活性層に対するキャリア注入効率を改善して発光効率を向上させることができた。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に設けた縦割溝幅の大きな光導波路とそれらに挟まれた縦割溝幅の小さな光活性層を有した異種二重接合構造において、該光活性層が量子障壁層と量子井戸層により形成した単一量子井戸構造であるか又は量子障壁層と量子井戸層を周期的に繰り返した多重量子井戸構造であり、該量子障壁層に対してp型或はn型を示す不純物をドーピングすることにより形成した不純物単位を介して、該量子障壁層から該量子井戸層へキャリアが注入されることによりアシストされて、該量子井戸層におけるキャリア密度が閾密度に達しレーザ発振を引き起こすことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 該量子障壁層に対してp型或はn型を示す不純物をドーピングして形成した不純物単位に関して、該不純物単位は少なくとも量子井戸層における伝導帯或いは価電子帯の量子単位よりもエネルギーが高く、さらにレーザ発振するときにおいて伝導帯或いは価電子帯の波数ベクトル空間に分布するキャリアのエネルギー密度が最も大きくなる時に示すエネルギー高さと同じか或いはそれよりも該不純物単位が高くなる位置に設定してあることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 該光活性層を構成する量子井戸構造は該量子井戸層或は該量子障壁層に格子歪を導入した歪量子井戸構造であり、上記第2項の条件を満足するように量子井戸層に設定する量子単位の高さは該量子井戸層と該量子障壁層を構成する組成や膜厚によって設計してあることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 量子井戸構造活性層中の量子障壁層のみに変調ドーピングすることを特徴とする請求項2又は3記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 量子井戸構造活性層中の量子障壁層に変調ドーピングし、量子障壁層全体ではなく量子井戸層に隣接する領域には不純物をドーピングせず、量子障壁層の両端にスペーサを設けて中央部にのみ不純物をドーピングすることを特徴とする請求項2又は3記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 該光活性層を構成する量子井戸層内に蓄積されるレーザ発振に必要なキャリア密度よりも、量子障壁層に変調ドーピングした不純物によって発生するキャリア密度の方が相対的に高く、該量子障壁層にドーピングした不純物が生ずる活性化したキャリア濃度は $5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ 以上に設定してあることを特徴とする請求項4又は5記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 該量子障壁層にドーピングしたキャリアは、量子障壁層から量子井戸層へトンネル効果により透過して注入されることを特徴とする請求項4乃至6のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】 該量子井戸層の膜厚を薄くするに従って該量子障壁層に不純物をドーピングして生じるキャリア濃度を大きく設定することを特徴とする請求項1乃至7のいずれ

2

かに記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 多重量子井戸構造を有する活性層において、周期的に設けた該量子井戸層に閉じ込められたキャリアの波動関数が互いに作用し合うように設定して該量子井戸層内にミニバンド構造を形成することを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項10】 該基板が立方晶系であるDiamond又はZinc Blende構造を有する基板であるとき、基板面方位が(001)面から $0^\circ \sim 54.7^\circ$ の範囲に傾いており、該基板が六方晶系であるWurtzite構造を有する基板であるとき、基板面方位が(0001)面から $0^\circ \sim 54.7^\circ$ の範囲に傾いていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項11】 該基板がGaAs, GaP, InP, Si, SiCに代表される半導体単結晶基板であるか或はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, ZnO, MnO, GaN, AlNに代表されるセラミックス単結晶基板であることを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光増幅回路或は光応用計測用に適した光源となる半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の技術では、可視発光材料のうちGaIn/GaN材料を用いた青色発光ダイオードを構成する各結晶成長層の詳細について、例えば公知例1) ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス1993年、32巻、8頁(Jpn. J. Appl. Phys., 32, L8-L11(1993))に述べられている。さらに発光活性層に対して不純物をドーピングし不純物レベルを形成することにより発光ダイオードの発光強度を大きくさせることについて、例えば公知例2) ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス1993年、32巻、338頁(Jpn. J. Appl. Phys., 32, L338-L341(1993))において述べられている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術では、電素系材料を用いた青色発光ダイオードに適する発光活性層の構成や不純物レベルについて言及している例である。しかしながら、素子の発光効率を向上させるために、発光活性層に対するキャリアの注入効率や閉じ込め効率に關して詳細内容を述べていない。また、低調製でレーザ発振させかつ高効率の光出力動作を得るための明確な対策を具体的に説明していない。

【0004】 本発明の目的は、青緑色から紫色に相当する短波長半導体レーザを構成するGaIn/GaN材料系において、低調製でかつ高効率のレーザ発振を可能とさせることである。本発明では、GaIn/AlGaInの周期的ヘテロ構造から構成される多重量子井戸(MQW)構造活性層

の構造設計について記述する。MQW活性層における量子障壁層に対してドープして形成される不純物単位と量子井戸層における量子障壁または注入キャリア密度の高さを相互に位置づけることにより、キャリアの注入効率や閉じ込め効果を向上させる。このことにより、レーザ発振の低閾値かつ高効率動作を達成することを目標とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0006】本発明では、活性層をMQW構造とし、量子障壁層に不純物を変調ドープする。不純物ドープにより発生したキャリアをトンネル効果により量子障壁層から量子井戸層へ有効に注入できるようにする。このため、不純物単位と量子井戸層内に形成される量子障壁の関係を規定し、不純物単位のエネルギー高さを量子障壁よりも高く設定する。これは、量子井戸構造において量子井戸層に用いる材料および組成と量子井戸幅、さらに量子障壁層に用いる材料および組成を相互に決定することにより得られる。これらのことは、特に有効質量の重いホールを有した材料、例えばIII-V族材料では顕著となる。

【0007】

【作用】目的を達成するため、上記手段の作用について説明する。

【0008】活性層に対して注入されるキャリアについて考えた場合、その有効質量の重い材料系、例えばAlGaIn材料系では、キャリアの注入効率を向上させる活性層構造設計が必要となる。特に、周期的ヘテロ構造から形成されるMQW構造では、各量子井戸層への均一なキャリア注入を行う工夫が重要である。

【0009】本発明では、活性層構造をMQW構造とし、特に有効質量の重いホールを予め活性層内に発生させ注入効率を向上させるために、p型不純物をドープする。ここで、量子井戸層へ不純物ドープすると、量子井戸層内へ注入されたキャリアが不純物散乱を受けるので、量子障壁層へ変調ドープする手法をとる。さらに、ヘテロ界面での不純物拡散を考慮して、量子井戸層と隣接した両側の境界領域へは不純物ドープせず、量子障壁層の中央部にのみ不純物ドープする。一方、GaInでは、p型不純物が形成する伝導に寄与するレベルは1.60 meV以下と深い位置にあるため、キャリアの活性化率が不十分である。そこで、量子井戸層内へホールの注入する効率を向上させるように、量子井戸層の構造設計が必要となる。即ち、量子障壁層にドープしたキャリアがトンネル効果により量子井戸層へ効率よく注入されるように、量子障壁層に形成される不純物単位を量子井戸層内の量子障壁よりも高く設定する。さらには、レーザが発振するとき、量子障壁に分布するキャリアのエネルギー密度が最も大きくなる時に示すエネルギー高さと同じ

かそれよりも不純物単位が高く設定してあることが望ましい。これを実現するには、量子井戸構造において量子井戸層のポテンシャル井戸の底の高さ、つまり量子井戸層の材料組成と量子井戸幅、量子障壁層のエネルギー高さ、つまり量子障壁層の材料および組成を規定することにより達成される。例えば、GaInを量子井戸層とし、GaInを量子障壁層とした場合には、GaIn量子井戸層のIn組成を0.27以上を設定し、量子井戸幅を狭くするに従って、In組成を大きく設定して量子障壁のエネルギー高さを調節することによる。

【0010】以上により、有効質量の重い材料系においても、各量子井戸層内に均一なキャリアの注入を効率よく行うことができ、低閾値動作や量子効率の向上が図られる。

【0011】

【実施例】

実施例1

本発明の一実施例を図1、2により説明する。まず図1において、(0001)面から10°傾いた面を有するサブファイバ基板1を用いて、その上にアンドープGaInバッファ層2 ( $d=0.05 \mu\text{m}$ )、n型GaIn光導波層3 ( $d=5 \mu\text{m}$ ,  $N=5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )、n型AlGaIn光導波層4 ( $d=0.1 \mu\text{m}$ ,  $N=2 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ,  $y=0.15$ )、厚6nmのアンドープGa:In ( $N=0.33$ )を量子井戸層2層とし、厚10nmのアンドープGaIn量子障壁層1層、及び量子井戸層両側に設けた厚90nmのアンドープGaIn光分離閉じ込め層から構成される(多重量子井戸層周辺の伝導帯および価電子帯バンド構造の概略は図2のようになり、該量子障壁層全体と光分離閉じ込め層にはp型不純物を変調ドープして  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  のキャリア濃度を発生させる)多重量子井戸層活性層5、p型AlGaIn光導波層6 ( $d=0.1 \mu\text{m}$ ,  $N=3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ,  $y=0.15$ )、p型GaIn光導波層7 ( $d=1 \mu\text{m}$ ,  $N=7 \sim 9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ )を有機金属気相成長(MOCVD)法によりエピタキシャル成長した。この後、ホトリソグラフィによりSiO<sub>2</sub>マスク(膜厚 $d=0.1 \mu\text{m}$ )を形成し、ケミカルエッチングにより層5を0.2  $\mu\text{m}$ 残すところまで層6と層5をエッチング除去してレジストライプを形成する。次に、SiO<sub>2</sub>マスクを残したまま、n型GaIn電流受容層8 ( $d=1 \mu\text{m}$ ,  $N=1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )を塩化水素を添加したMOCVD成長法により選択成長する。SiO<sub>2</sub>マスクを除去した後、p型GaInコンタクト層9 ( $d=2 \sim 3 \mu\text{m}$ ,  $N=1 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )を埋め込み成長した後、電極10及びn電極11を蒸着する。さらに、劈開してバー状の素子に切り出し、図1の断面を有する素子を得る。次に、共振器の前面と後面に高反射膜コーティングを施す。

【0012】本実施例における素子では、波長範囲410～430 nmにおいて電圧注入によるレーザ発振が可能であった。また、量子障壁層にp型不純物をドーピングしない素子に比べて、内部量子効率は5倍以上の値を得た。

5

## 【0013】実施例2

本発明の他実施例を図3、4により説明する。まず図3において、実施例1と同様に素子を作製するが、量子障壁層へのp型変調ドーブでは概略を図4に示すように量子井戸層との境界領域両側10aにはドーピングせず、量子障壁層中央部と光分離層に込め層にはp型不純物を変調ドーブして $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のキャリア濃度を発生させる。その他、実施例2と全く同様に素子を作製する。

【0014】本実施例における素子でも、波長範囲410~430nmにおいて電流注入によるレーザ発振が可能であった。また、量子障壁層にp型不純物をドーピングしない素子に比べて、内部量子効率は実施例1よりも大きく8倍以上の値を得た。

## 【0015】実施例3

本発明の他実施例を図5により説明する。まず図5において、(0001)面から4°傾いた面を有するn型 $\alpha$ -SiC基板13を用いて、実施例2と同様に各結晶層を成長させる。その後、成長層の上部にp電極10と基板側下部にn電極11を蒸着する。その他、実施例2と全く同様に素子を作製する。

【0016】本実施例における素子でも、実施例2と同様の効果を得た。

## 【0017】実施例4

本発明の他実施例を図6より説明する。まず図6において、(001)面から5.4°傾いた(111)面を有するn型 $\beta$ -SiC基板14を用いて、実施例2と同様に各結晶層を成長させる。その後、成長層の上部にp電極10と基板側下部にn電極11を蒸着する。その他、実施例2と全く同様に素子を作製する。

【0018】本実施例における素子でも、実施例2と同様の効果を得た。

## 【0019】

【発明の効果】本発明により、ホールの有効質量が重い材料系において、MQW活性層に対するキャリア注入効率を改善して発光効率を向上させることができた。例えば、GaIn/AlGaIn材料系において、電流注入により波長

6

範囲410~430nmでレーザ発振を可能とし、内部量子効率は本発明で行ったp型不純物の変調ドーブにより8倍以上に増大することが可能であった。

## 【0020】

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す素子構造断面図。

【図2】本発明の一実施例における多重量子井戸層内の伝導帯および価電子帯バンド構造と量子障壁層へのp型変調ドーブを示す概略図。

【図3】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図4】本発明の他実施例における多重量子井戸層内の伝導帯および価電子帯バンド構造と量子障壁層へのp型変調ドーブを示す概略図。

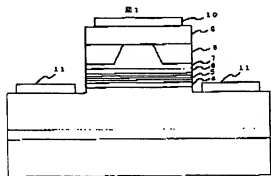
【図5】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図6】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

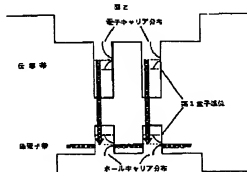
## 【符号の説明】

1. (0001)面から10°オフした面を有するサファイア基板
2. GaNバッファ層
3. n型GaN光導波層
4. n型AlGaIn光導波層
5. GaInIn量子井戸層とp型変調ドーブGaN量子障壁層の多重量子井戸特性層
6. p型AlGaIn光導波層
7. p型GaN光導波層
8. p型GaN電流狭窄層
9. p型GaNコンタクト層
10. p電極
11. n電極
12. GaInIn量子井戸層とp型変調ドーブGaN量子障壁層の多重量子井戸特性層
13. (0001)面から4°オフした面を有するn型 $\alpha$ -SiC基板
14. (001)面から5.4°傾いた(111)面を有するn型 $\beta$ -SiC基板

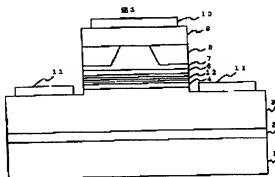
【図1】



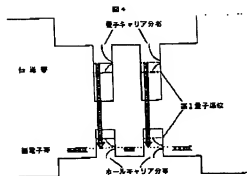
【図2】



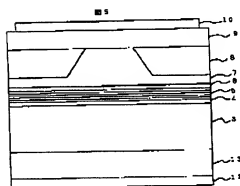
【図3】



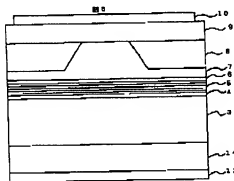
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 皆川 益重  
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内